

# STUDI PENGARUH ANIL PADA SIFAT SILIKON AMORF TERHIDROGENASI (A-Si:H) YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE PECVD

Fuad Darul Muttaqin, Darminto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: darminto@physics.its.ac.id

**Abstrak**— Telah dilakukan penelitian pengaruh perlakuan *anneal* pada silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:h) yang ditumbuhkan dengan metode Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD). Penelitian dilakukan menggunakan substrat kaca dan gas prekursor silan (SiH<sub>4</sub>) dan hidrogen (H<sub>2</sub>). Perlakuan panas anil untuk sampel dengan film dilakukan dengan variasi temperatur pada 200°C, 300°C, dan 400°C. Pemanasan pada suhu 300°C dilakukan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, FTIR, dan UV-Vis. Nilai kristalinitas didapatkan pada nilai antara 3.26% – 6.8%. Celah energi semua film antara 1.707 – 1.750 eV, dengan energi Urbach didapatkan pada nilai antara 0.214 – 0.269 eV. Kandungan dangling bond berkisar antara  $1.16 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  –  $2.24 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . Dari penelitian ini diketahui bahwa proses anil mempengaruhi rapat keadaan “dangling bond”, celah energi, energi Urbach, % kristalinitas.

**Kata kunci** : a-Si:H, sel surya, PECVD, dan anil.

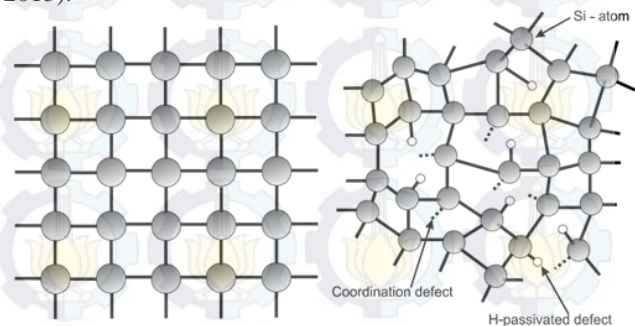
## I. PENDAHULUAN

Selama satu dekade terakhir konsumsi energi dunia terus meningkat, sementara pasokan energi, terutama bahan bakar fosil terus berkurang. Pada tahun 1990, pemenuhan konsumsi energi didominasi oleh bahan bakar fosil yaitu minyak, batu bara, dan gas dengan prosentase masing-masing 36%, 30%, 19%, dan 15% sisanya dari sumber energi terbarukan. Sedangkan pada tahun 2013 penggunaan bahan bakar fosil mengalami penurunan hampir 10%, dan tergantikan dengan sumber energi nuklir dan sumber energi terbarukan (REN, 2014).

Dengan melihat kondisi diatas maka diperlukan adanya sumber energi alternatif terbarukan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi alternatif ini adalah sel surya. Silikon amorf terhidrogenasi (*hydrogenated amorphous silicon*, a-Si:H) merupakan salah satu teknologi fotovoltaik yang sering digunakan selama 25 tahun terakhir. Meskipun silikon kristal (c-Si maupun mc-Si) lebih stabil dan memiliki efisiensi lebih tinggi, namun biaya produksi untuk keduanya sangat mahal (Vilamitjana, 2004).

Pada silikon kristal setiap atom Si berikatan secara kovalen dengan 4 atom tetangga terdekat dengan sudut ikatan 109° membentuk struktur *tetrahedral*. Sedangkan silikon amorf

terjadi deviasi penambahan panjang ikatan sebesar 1.9% dan sudut ikatan sekitar 10° dari struktur kristalnya (Munyeme, 2013).



Crystalline silicon

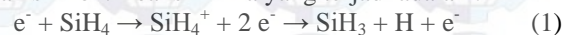
Amorphous silicon

Gambar 1. Struktur silikon kristal dan amorf

(Munyeme, 2013).

Pada silikon amorf *defect* utama yang terjadi adalah *dangling bond*, yaitu adanya atom Si yang Si terdekatnya. atom silikon dapat berikatan dengan atom lain yakni hidrogen, yang kemudian membentuk silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H) (Dessyntyah-Yahya, 2010). Ikatan Si-H yang terbentuk mudah lepas oleh pengaruh penyinaran dengan intensitas tinggi, yang kemudian meninggalkan *defect dangling bond*. Dangling bond ini merupakan kandidat utama penyebab penurunan efisiensi sel surya berbasis a-Si:H, yang dikenal sebagai efek Staebler-Wronski (*Staebler-Wronski Effect* - SWE) (Street, 1991).

Pada saat deposisi dengan PECVD, terjadi empat tahap utama, yaitu : 1) Reaksi primer, yaitu gas silan dan gas hidrogen terdisosiasi menghasilkan radikal netral, ion positif dan negatif serta elektron, terbentuk plasma, 2) Reaksi sekunder yaitu terjadi reaksi radikal netral yang berdifusi dalam substrat, ion positif menuju katoda dan ion negatif menuju anoda, 3) Terjadi reaksi di permukaan substrat, dan 4) Penyusunan sub-permukaan dan terjadi relaksasi struktur jaringan silikon. Reaksi kimia yang terjadi adalah :



Sifat, struktur, dan fase material Si:H ditentukan oleh detail dari proses deposisi. Variabel yang berpengaruh antara lain : jenis substrat, temperatur substrat, daya radio frekuensi (RF), tekanan *chamber*, laju aliran gas prekursor, dan waktu deposisi (Cahyono, 2014).



## I. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: substrat kaca, gas Silan ( $\text{SiH}_4$ ), Hidrogen ( $\text{H}_2$ ), Nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Sebelum proses deposisi substrat dipotong sesuai ukuran *holder*, yaitu  $10.1 \times 10.1$  cm. Lalu substrat dan *holder* dibersihkan menggunakan diwater menggunakan tissue tanpa serat. Setelah kering substrat diletakkan diatas *holder* kemudian ditutup, kemudian dimasukkan dalam sistem PECVD melalui entry port. Semua parameter deposisi di set pada nilai yang tepat, kemudian sistem PECVD dijalankan. Parameter deposisi yang digunakan adalah : P=2 torr, T=150°C, RF=5 watt, V  $\text{SiH}_4$ =2,5 sccm, V  $\text{H}_2$ =90 sccm, t=60 menit.

Selanjutnya sampel hasil deposisi di anneal menggunakan furnace dengan variasi temperatur T=200°C, 300°C, 400°C dengan waktu konstan t=30 m, dan variasi waktu, t=30 m, 60 m, 90 m dengan temperature konstan T=300°C. Sebagai data pembandingan juga dilakukan anneal untuk substrat tanpa anneal dengan variasi temperatur T=200°C, 300°C, 400°C dengan waktu konstan t=30 m.

Karakterisasi terhadap hasil perlakuan anneal dilakukan menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD), Fourier-Transform Infra-Red (FTIR), dan spektrometer Ultraviolet-Visual (UV-Vis). Karakterisasi FTIR dilakukan pada bilangan gelombang  $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan UV-Vis dilakukan pada panjang gelombang 250 – 800 nm.

Tebal lapisan film ditentukan menggunakan persamaan Swanepoel (Bilalodin, 2012) :

$$N_{1,2} = 2n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (3)$$

$$n_{1,2} = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \quad (4)$$

Selanjutnya nilai tebal lapisan tipis dapat dihitung dengan persamaan :

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (5)$$

dengan  $T_M$  adalah puncak transmittansi maksimum,  $T_m$  puncak transmittansi minimum,  $\lambda$  adalah panjang gelombang pada  $T_M$ , dan  $d$  tebal film.

Selanjutnya rapat keadaan hidrogen dalam film dapat ditentukan menggunakan persamaan (Kroll dkk, 2000) :

$$C(H) = \frac{A_k}{N_{Si}} \int_k \frac{\alpha(k)}{k} dk \approx \frac{A_k}{N_{Si}} \sum_v \frac{\alpha(k)}{k} \Delta k \quad (6)$$

$$N_H = C(H) \cdot N_{Si} \quad (7)$$

dengan dimana  $\alpha(k)$  adalah nilai koefisien absorpsi pada bilangan gelombang  $k$ ,  $A_k$  konstanta untuk hidrogen bernilai  $1.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ ,  $N_{Si}$  untuk silikon amorf  $\alpha - \text{Si} : \text{H}$  adalah  $5.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ,  $C(H)$  adalah konsentrasi H terhadap Si (tak berdimensi), dan  $N_H$  rapat keadaan hidrogen ( $\text{cm}^{-3}$ ). Nilai  $\alpha(k)$  ditentukan menggunakan :

$$\alpha = -d \cdot \ln(T) \quad (8)$$

Selanjutnya energi gap ditentukan menggunakan metode Tauc plot pada kurva  $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ . Sedangkan energi urbach

ditentukan menggunakan *exponential trendline* pada kurva  $\alpha - h\nu$  berdasarkan persamaan :

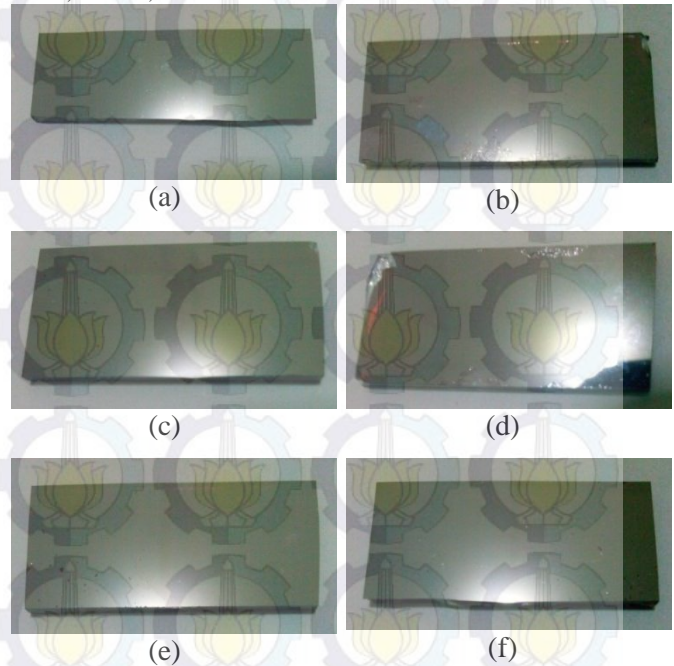
$$\alpha = \alpha_o \exp\left(\frac{E}{E_u}\right) \quad (9)$$

## II. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Pembuatan Lapisan Tipis $\alpha - \text{Si} : \text{H}$

Penelitian ini menggunakan bahan dasar gas  $\text{SiH}_4$  dan gas Hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Selanjutnya  $\text{SiH}_4$  dan  $\text{H}_2$  digunakan untuk menumbuhkan lapisan film tipis diatas substrat kaca sehingga terbentuk lapisan tipis  $\text{Si} : \text{H}$  (silikon terhidrogenasi). Penumbuhan lapisan tipis (deposisi) ini menggunakan metode Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD).

Di dalam proses PECVD, gas  $\text{SiH}_4$  dan gas  $\text{H}_2$  diubah menjadi plasma melalui tumbukan inelastik antara molekul gas dengan elektron di dalam chamber discharge. Tumbukan inelastik antara molekul gas dengan elektron menimbulkan molekul baru yang sangat reaktif. Molekul yang sangat reaktif inilah yang ditumbuhkan (deposisi) diatas substrat kaca dengan temperatur chamber yang rendah. Gas  $\text{SiH}_4$  yang bereaksi dengan molekul yang sangat reaktif dapat membentuk berbagai macam molekul antara lain  $\text{SiH}$ ,  $\text{SiH}_2$ ,  $\text{SiH}_3$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_6$ , dan  $\text{H}_2$ .



Gambar 2. Foto sampel setelah perlakuan anneal (a) tanpa anneal, (b) t=30 mnt T=200°C, (c) t=30 mnt T=300°C, (d) t=30 mnt T=400°C, (e) t=60 mnt T=300°C, (f) t=90 mnt T=300°C

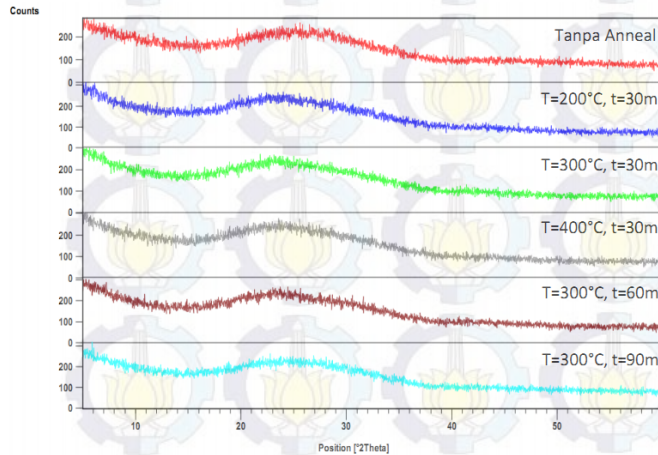
Proses anneal pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek perlakuan panas pada ikatan yang terbentuk antara silikon dan hidrogen ( $\text{SiH}$ ,  $\text{SiH}_2$ ). Hal ini berkaitan dengan kestabilan dan rapat keadaan ikatan yang terbentuk. Ketika ikatan antara silikon dan hidrogen terputus akibat perlakuan panas, maka akan terbentuk dangling bond dalam struktur film. Dangling bond ini merupakan defect utama yang



merugikan pada material a-Si:H, dan merupakan salah satu faktor penyebab efek Stabler-Worski.

### B. Analisa Hasil XRD

Karakterisasi XRD dilakukan dengan sudut tembak  $3^\circ$  pada rentang nilai  $2\theta=5^\circ-60^\circ$ . Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui tingkat amorfus-kristalinitas film.



Gambar 3. Hasil karakterisasi XRD.

Penentuan kristalinitas film menggunakan software X'Pert HighScore Plus (HSP) disajikan dalam table berikut :

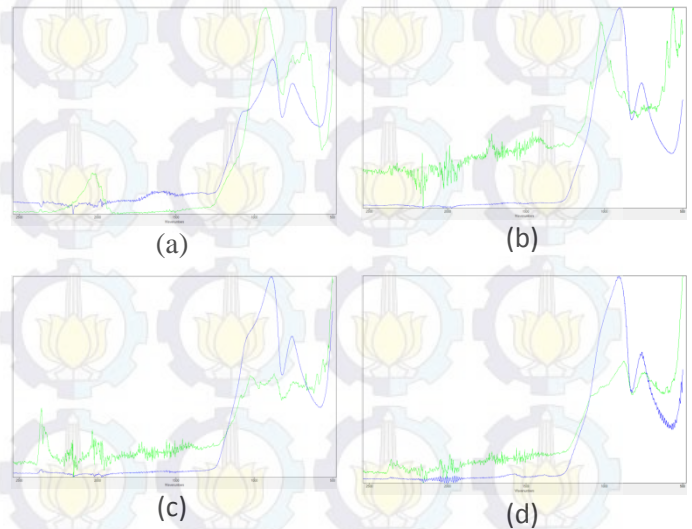
Tabel 1. Kristalinitas Film menggunakan HSP

t=30 menit		T=300°C	
T	%kristalinitas	T	%kristalinitas
200	8,41	0	5,51
300	3,26	30	3,26
400	6,15	60	3,64
		90	6,80

Dari nilai %kristalinitas terlihat bahwa tanpa anneal kristalinitas film adalah 5.51%. Pada variasi waktu terjadi penurunan pada  $t=30$  m menjadi 3.26%. Kemudian mengalami kenaikan yang signifikan untuk  $t=60$  m dan  $t=90$  m menjadi 3.64% dan 6.80%. Sedangkan pada variasi temperatur terjadi kenaikan pada  $T=200^\circ\text{C}$  menjadi 8.41%. Kemudian penurunan tajam pada  $T=300^\circ\text{C}$  menjadi 3.26% dan kenaikan kembali pada  $T=400^\circ\text{C}$  menjadi 6.15%. Dari nilai %kristalinitas tersebut, maka tingkat amorf dari film berada pada rentang nilai 96.74%–93.2%.

### C. Analisa Hasil FTIR

Pada karakterisasi FTIR ini, sebagai data pembandingan juga dilakukan karakterisasi untuk substrat kaca pada variasi temperatur  $T=200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ . Hal ini dilakukan untuk mengetahui puncak-puncak yang mana yang berasal dari substrat dan puncak-puncak yang mana yang berasal dari film. Terutama pada bilangan gelombang dibawah 1200 dimana nilai puncaknya saling berdekatan. Berikut disajikan grafik pencocokan posisi puncak untuk sampel tanpa film (hanya substrat) dan dengan film (substrat+film).



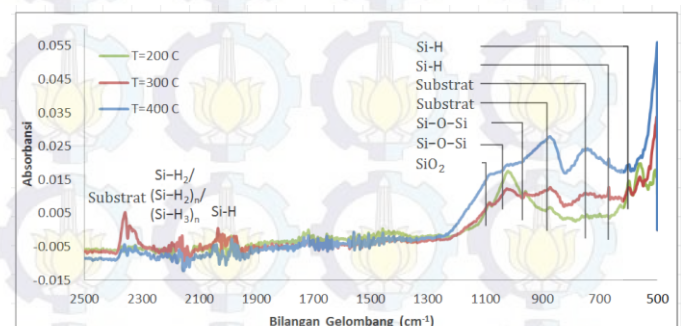
Gambar 4. Grafik pencocokan posisi puncak untuk sampel tanpa film (biru) dan dengan film (hijau) untuk (a) tanpa anneal, (b)  $T=200^\circ\text{C}$ , (c)  $T=300^\circ\text{C}$ , (d)  $T=400^\circ\text{C}$

Dari gambar 4 terlihat bahwa pada sampel tanpa film (substrat kaca) memiliki 2 puncak utama yaitu pada bilangan gelombang  $\sim 890$  dan  $\sim 760$ . Selain 2 puncak utama tersebut juga terdapat puncak kecil pada bilangan gelombang  $\sim 2357$  untuk variasi temperatur  $300^\circ\text{C}$  dan  $400^\circ\text{C}$ .

Pada data hasil karakterisasi FTIR, terlihat puncak-puncak absorbansi pada nilai bilangan gelombang : 2357,  $\sim 2165$ ,  $\sim 2000$ , 1083, 1017, 967, 881, 745, 667, 600. Puncak-puncak diatas dapat dibandingkan dengan data referensi berikut :

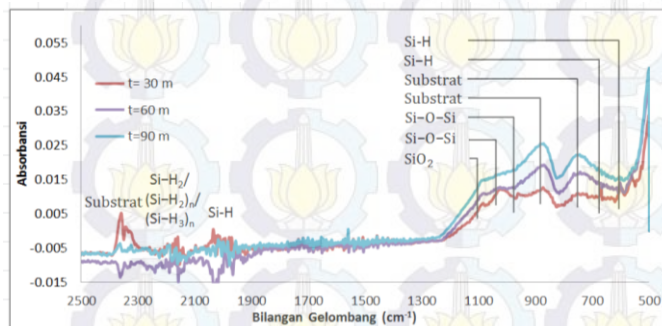
Tabel 2. Puncak intensitas dan struktur kimia referensi

$k \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Struktur Kimia	Keterangan
600-650	Si-H	Wagging/ Rocking
$\sim 667$	Si-H	-
970	Si-O-Si	-
1000-1130	Si-O-Si	Asymmetric Stretching
1080-1110	$\text{SiO}_2$	-
1083	Si-O-Si	Stretching
$\sim 2000$	Si-H	Stretching
$\sim 2150$	$\text{Si-H}_2/(\text{Si-H}_2)_n/(\text{Si-H}_3)_n$	Stretching



Gambar 5. Grafik Pencocokan puncak data dan referensi untuk variasi temperatur





Gambar 6. Grafik Pencocokan puncak data dan referensi untuk variasi waktu

Dari gambar 4.12 dan 4.13 terlihat bahwa puncak pada bilangan gelombang  $1083 \text{ cm}^{-1}$  adalah  $\text{SiO}_2$  (silikon dioksida). Semua bentuk  $\text{SiO}_2$  memiliki puncak yang kuat pada nilai bilangan gelombang tersebut.  $\text{SiO}_2$  ini adalah kandungan utama dari substrat kaca, yaitu silika.

Selanjutnya dari persamaan 4.2 dapat dihitung rapat keadaan Si-H pada  $600 \text{ cm}^{-1}$  dan  $667 \text{ cm}^{-1}$ . Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (6) dan (7). Hasil perhitungan disajikan dalam tabel berikut.

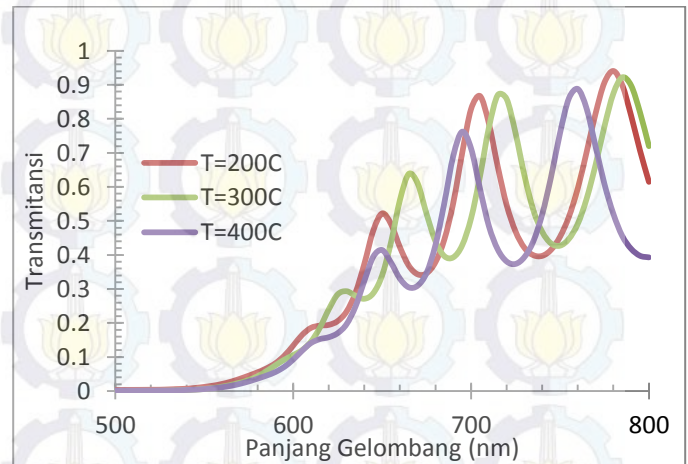
Tabel 3. Rapat Keadaan hidrogen

t=30 menit		T=300°C	
T	$N_{(\text{Si-H})}$	t	$N_{(\text{Si-H})}$
200	$1,32 \times 10^{20}$	0	$2,54 \times 10^{20}$
300	$4,47 \times 10^{19}$	30	$4,47 \times 10^{19}$
400	$3,43 \times 10^{19}$	60	$2,01 \times 10^{19}$
		90	$3,82 \times 10^{19}$

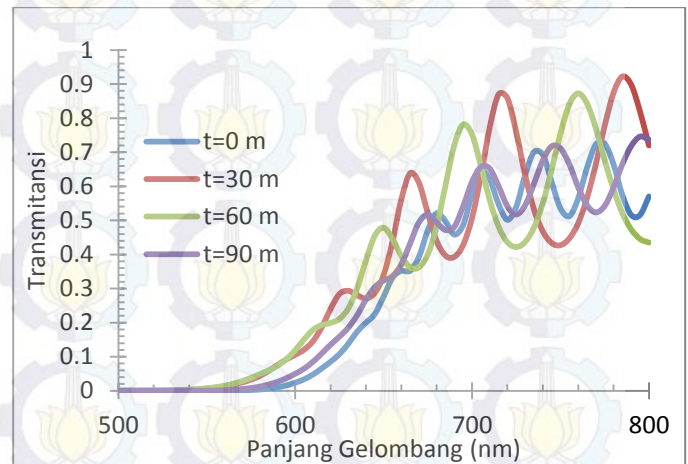
Dari hasil perhitungan dalam tabel 3, terlihat bahwa konsentrasi Si-H dalam film cenderung mengalami penurunan untuk setiap kenaikan variasi temperatur maupun waktu, kecuali pada variasi waktu 90 menit. Kecenderungan penurunan ini dikarenakan ikatan Si-H akan putus ketika dikenai panas. akibat dari lepasnya atom hidrogen maka akan terjadi dangling bond pada atom silikon menjadi Si-DB. Dangling bond merupakan sebab utama munculnya efek Staebler-Worski

#### D. Analisa Hasil UV-Vis

Dari hasil karakterisasi UV-Vis terlihat bahwa nilai transmitansi maksimal untuk semua variasi anneal, terjadi pada panjang gelombang diatas 600 nm. Hal ini berarti bahwa panjang gelombang pada nilai yang melebihi 600 nm tidak dapat diserap oleh film, sehingga hanya diteruskan saja (ditransmisikan). Sebaliknya pada nilai panjang gelombang yang rendah, yaitu pada rentang 300 nm sampai dengan 550 nm terjadi transmitansi minimal, sehingga nilai absorbansi maksimal. Nilai absorbansi yang tinggi ini mengindikasikan bahwa panjang gelombang pada rentang tersebut dapat diserap secara efektif oleh film. Hal ini menandakan daerah kerja efektif dari film berada pada panjang gelombang antara 300 nm sampai dengan 550 nm.



Gambar 7. Hasil karakterisasi UV-Vis untuk variasi temperatur



Gambar 8. Hasil karakterisasi UV-Vis untuk variasi waktu

Pada daerah transisi fundamental, yang terjadi pada nilai panjang gelombang  $\sim 550 \text{ nm}$  hingga  $\sim 615 \text{ nm}$ , tampak terjadi perubahan kurva transmitansi yang sangat besar. Hal ini terjadi karena pada daerah transisi fundamental tersebut terjadi penyerapan foton oleh elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi (direct gap).

Nilai transmitansi suatu film juga dapat dihubungkan dengan kualitas kristal film. Plot grafik yang berbentuk tajam pada tepi grafik transmitansi menunjukkan bahwa kualitas kristal film yang semakin bagus. Selain dipengaruhi oleh kualitas kristal film, menurut purwaningsih dkk. (2005) nilai transmitansi juga dipengaruhi oleh doping atau ketakmurnian. Dalam hal ini ketakmurnian dalam sampel adalah adanya atom hidrogen, serta pengaruh dangling bond.

Nilai transmitansi mulai naik pada panjang gelombang  $\sim 550 \text{ nm}$  untuk semua sampel. Kemudian mulai terjadi osilasi dimulai dari panjang gelombang  $\sim 635 \text{ nm}$ . Osilasi yang muncul pada spektrum transmitansi disebabkan oleh efek interferensi yang disebabkan oleh perbedaan nilai indeks bias dalam lapisan (Mursal dkk., 2006). Osilasi menunjukkan ketebalan suatu film. Ketebalan suatu film sangat berpengaruh terhadap nilai transmitansi. Ketika suatu film memiliki lapisan yang tebal maka akan menurunkan nilai transmitansi optik pada daerah spektrum cahaya tampak. Perhitungan tebal lapisan film hasil deposisi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3), (4), dan (5). Hasil perhitungan disajikan dalam table berikut :



Tabel 4. Hasil perhitungan tebal lapisan deposisi (dalam  $\mu\text{m}$ )

t=30 menit		T=300°C	
T	Tebal	t	Tebal
200	0,59	0	3,02
300	0,85	30	0,85
400	0,54	60	0,68
		90	1,74

Selanjutnya penentuan energi gap dilakukan menggunakan metode Tauc Plot. Hasil penentuan energi gap diberikan pada table berikut :

Tabel 5. Hasil perhitungan Energi gap (eV)

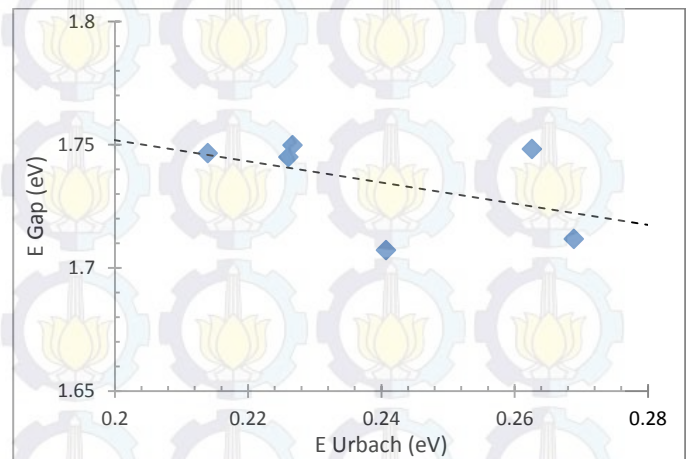
t=30 menit		T=300°C	
T	E Gap	t	E Gap
200	1,71	0	1,75
300	1,75	30	1,75
400	1,71	60	1,75
		90	1,74

Energi urbach terbentuk karena adanya cacat kristal atau konsentrasi doping / ketakmurnian yang tinggi dan bergabung ke dalam pita konduksi atau pita valensi (Wiyanto dkk., 2004). Efek ini menghasilkan tepi absorpsi eksponensial dalam bahan semikonduktor. Penentuan energi urbach dilakukan menggunakan exponential trendline berdasar persamaan (9). Hasil penentuan energi urbach diberikan dalam table berikut :

Tabel 6. Hasil perhitungan Energi Urbach (eV)

t=30 menit		T=300°C	
T	E Urbach	t	E Urbach
200	0,24	0	0,21
300	0,23	30	0,23
400	0,27	60	0,26
		90	0,23

Nilai dari energi urbach berkaitan dengan adanya *defect* pada film. *Defect* yang paling utama adalah munculnya *dangling bond* pada film. Ketika *dangling bond* pada film meningkat, maka nilai dari energi gap akan menurun. Hal ini terjadi karena konsentrasi *dangling bond* yang meningkat menyebabkan *exponential bandtail* yang semakin landai pada pita konduksi maupun pita valensi. Akibatnya nilai band gap akan semakin kecil. Gambar grafik hubungan antara energi gap dan energi urbach diberikan pada gambar 8. Nilai *trendline* yang menurun bersesuaian dengan hasil penelitian oleh RN. Kré dkk (2010).



Gambar 9. Hubungan antara energi gap dengan energi urbach.

### E. Rapat keadaan dangling bond

*Dangling bond* terbentuk dari atom silikon yang tidak berikatan, baik dengan silikon tetangganya maupun dengan hidrogen. Akibatnya elektron dari silikon tersebut tidak berpasangan, sehingga akan ada spin elektron yang tidak berpasangan. Dengan demikian maka rapat keadaan *dangling bond* dapat didekati dengan rapat keadaan spin. Rapat keadaan dari spin elektron tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan (RN. Kré dkk, 2010) :

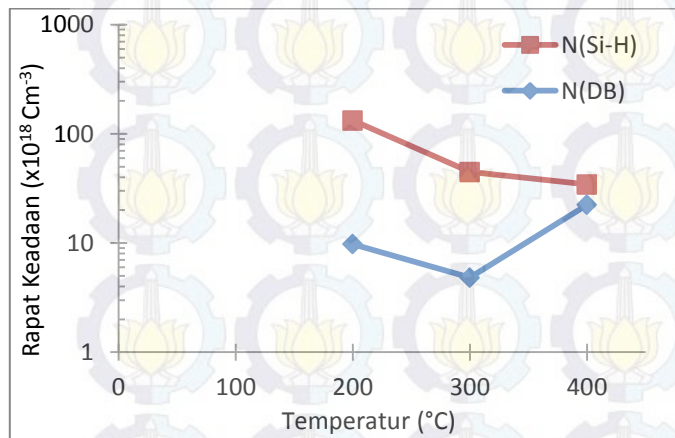
$$N(S) = 1 \times 10^{15} \cdot \alpha_{1,2}^{1.3501} \quad (10)$$

dimana  $N_s$  adalah rapat keadaan spin (dalam  $\text{cm}^{-3}$ ), dan  $\alpha_{1,2}$  adalah nilai koefisien absorpsi pada saat nilai  $h\nu = 1.2 \text{ eV}$ . Karena karakterisasi UV-Vis hanya dilakukan untuk nilai  $h\nu$  antara 1.55 eV hingga 4.97 eV, maka nilai dari  $\alpha_{1,2}$  ditentukan secara matematik berdasar persamaan trendline energi urbach.

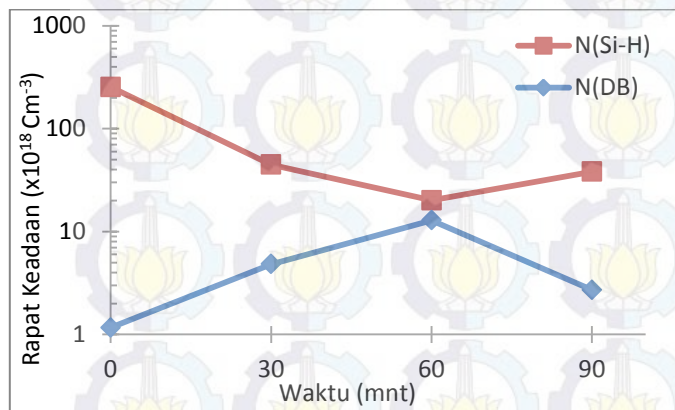
Tabel 7. Rapat keadaan spin elektron

t=30 menit		T=300°C	
T	$N_s$		
200	$9.75 \times 10^{18}$	0	$1.16 \times 10^{18}$
300	$4.82 \times 10^{18}$	30	$4.82 \times 10^{18}$
400	$2.24 \times 10^{19}$	60	$1.29 \times 10^{19}$
		90	$2.71 \times 10^{18}$
		0	$1.16 \times 10^{18}$





Gambar 10. Rapat keadaan hidrogen dan dangling bond (Spin) pada variasi temperatur



Gambar 11. Rapat keadaan hydrogen dan dangling bond (Spin) pada variasi waktu

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *dangling bond* berada pada orde  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Sebagai pembandingan nilai rapat keadaan *dangling bond* untuk film a-Si:H terbaik yang dideposisi dengan gas silan adalah pada orde  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  hingga  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  (Kr é dkk, 2010). Terlihat bahwa rapat keadaan *dangling bond* yang paling kecil, yaitu  $1.16 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , terjadi pada film yang tidak dikenai anneal. Hal ini disebabkan karena tanpa perlakuan anneal tidak ada ikatan Si-H yang terlepas. Sebaliknya rapat keadaan *dangling bond* tertinggi, yaitu  $2.24 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , terjadi pada saat anneal pada temperatur  $400^\circ\text{C}$ , yang merupakan temperatur anneal tertinggi pada penelitian ini.

Dari gambar grafik 4.25 dan 4.26 terlihat bahwa rapat keadaan *dangling bond* yang paling kecil, yaitu  $1.16 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , terjadi pada film yang tidak dikenai anneal. Hal ini disebabkan karena tanpa perlakuan anneal tidak ada ikatan Si-H yang terlepas. Sebaliknya rapat keadaan *dangling bond* tertinggi, yaitu  $2.24 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , terjadi pada saat anneal pada temperatur  $400^\circ\text{C}$ , yang merupakan temperatur anneal tertinggi pada penelitian ini.

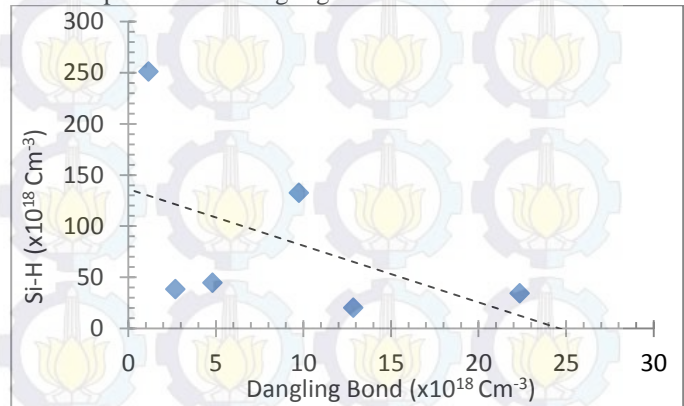
Si-H dan *dangling bond* memiliki hubungan keterkaitan yang rumit. Hal ini dikarenakan pada saat proses anneal terjadi beberapa kemungkinan, antara lain adalah :

- ❖ Ketika ikatan Si-H putus, atom H yang terlepas selanjutnya membentuk  $\text{Si-H}_2$  dan meninggalkan *dangling bond*. Dengan demikian maka rapat keadaan Si-H berbanding

terbalik dengan rapat keadaan *dangling bond* dan juga Si- $\text{H}_2$ .

- ❖ Ketika salah satu atom H pada  $\text{Si-H}_2$  terlepas, maka akan membentuk Si-H dan *dangling bond*, sehingga membentuk H-Si-DB.

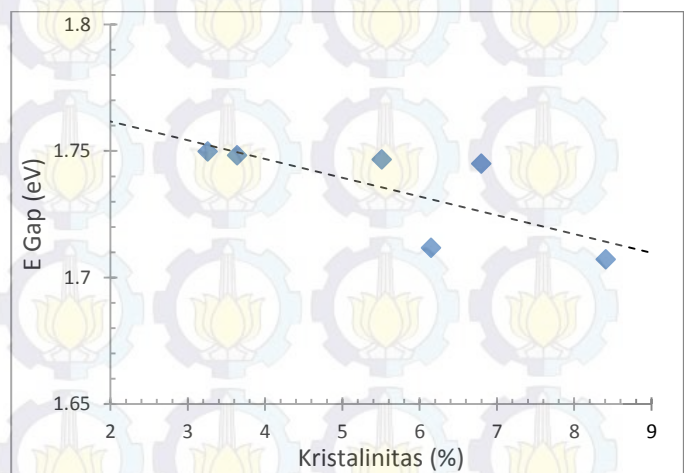
Sesuai penjelasan diatas maka secara teoritik Si-H berbanding terbalik dengan *dangling bond*. Hal ini terlihat dari gambar 4.27, dimana rapat keadaan Si-H cenderung turun ketika rapat keadaan *dangling bond* naik.



Gambar 12. Hubungan antara rapat keadaan Si-H dengan *dangling bond*

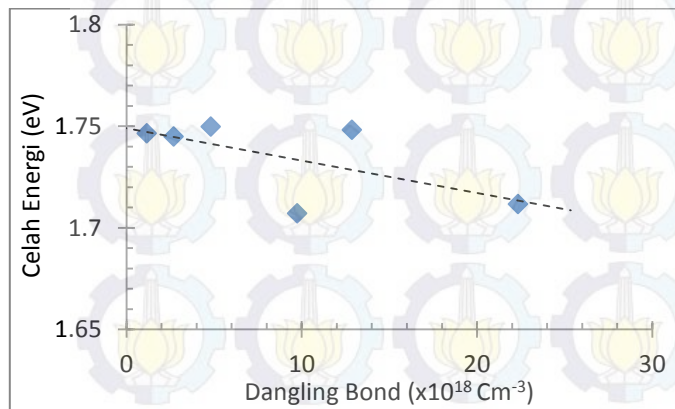
#### F. Faktor yang mempengaruhi energi gap

Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa energi gap film dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain yaitu : 1) %kristalinitas, dan 2) rapat keadaan *dangling bond*. Pada %kristalinitas terlihat bahwa energi gap cenderung turun ketika %kristalinitas naik. Pada rapat keadaan *dangling bond*, terlihat bahwa energi gap cenderung turun ketika rapat keadaan *dangling bond* naik.



Gambar 13. Hubungan antara energi gap dan % kristalinitas





Gambar 14. Hubungan antara energi gap dan rapat keadaan *dangling bond*

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Nilai kristalinitas didapatkan pada nilai antara 3.26% – 6.8%. Nilai kristalinitas terendah pada temperatur 300°C dan waktu 30 menit. Nilai kristalinitas tertinggi pada temperatur 300°C dan waktu 90 menit.
2. Energi gap didapatkan pada nilai antara 1.707 – 1.750 eV. Energi gap terendah pada temperatur 200°C dan waktu 30 menit. Energi gap tertinggi pada temperatur 300°C dan waktu 30 menit.
3. Energi urbach didapatkan pada nilai antara 0.214 – 0.269 eV. Energi urbach terendah pada film tanpa anneal. Energi urbach tertinggi pada temperatur 400°C dan waktu 30 menit.
4. *Dangling bond* didapatkan pada nilai antara  $1.16 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  –  $2.24 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . *Dangling bond* terendah pada film tanpa anneal. *Dangling bond* tertinggi pada pada temperatur 400°C dan waktu 30 menit.
5. Rapat keadaan *dangling bond* cenderung berbanding terbalik dengan rapat keadaan Si-H.
6. Energi gap berbanding terbalik dengan energi urbach.
7. Energi gap berbanding terbalik dengan % kristalinitas.
8. Energi gap berbanding terbalik dengan rapat keadaan *dangling bond*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Darminto, M.Sc selaku dosen pembimbing dan Bapak Yoyok Cahyono yang telah banyak membantu selama proses penelitian, serta semua pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yang, Cheng-Chieh. 2011. "*Hydrogenated Amorphous Silicon Carbide Prepared using DC Saddle Field PECVD for Photovoltaic Applications*". University of Toronto : Toronto.

- [2] Lim, PK. Dkk. "Effect of hydrogen on dangling bond in a-Si thin film". Journal of Physics: Conference Series 61 (2007) 708–712.
- [3] Launer, Philip J. 1987. "*Infrared Analysis of Organosilicon Compound : Spectra-Structure Correlation*". Laboratory for Material, Inc : New York.
- [4] Stuart, Barbara. 2004. "*Infrared Spectroscopy : Fundamental and Application*". John Wiley and Sons. ISBN 0-470-85427.
- [5] Groza, A. dkk. 2005. "*Infrared Spectral Investigation Of Organosilicon Compounds Under Corona Charge Injection In Air At Atmospheric Pressure*". National Institut for Laser : Bucharest.
- [6] Shokri, B. Firouzjah, MA. Hosseini SI. "*FTIR Analysis of silicon dioxide thin film deposited by Metal organic-based PECVD*". Shahid Bahesti University : Tehran.
- [7] Morajev, M. dkk. 2003. "*Plasma enhanced chemical vapour deposition of hydrogenated amorphous silicon at atmospheric pressure*". Universiti of California : Los Angeles.
- [8] REN21. 2014. "*Renewables 2014, Global Status Reports*". ([www.ren21.net](http://www.ren21.net)).
- [9] Vilamitjana, D. S. 2004. "*Amorphous Silicon Solar Cells Obtained By Hot-Wire Chemical Vapour Deposition*". tesis in Universitat de Barcelona. <http://alexandria.tue.nl/extra2/200211441.pdf>
- [10] Munyeme, Geoffrey. 2003. "*Experimental and Computer Modelling Studies of Metastability of Amorphous Silicon Based Solar Cell*". Netherland Organization for Scientific Research : Netherland.
- [11] Dessyntya, Rizky Mayang. Yahya, Eddy. 2010. "*PECVD Sistem Permasalahan dan Penyelesaian*". Jurusan Fisika FMIPA ITS : Surabaya.
- [12] Street, RA. 1991. "*Hydrogenated Amorphous Silicon*". Cambridge University Press : Cambridge.
- [13] Bilalodin. 2012. "*Pembuatan Dan Penentuan Celah Pita Optik Film Tipis TiO<sub>2</sub>*". Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY : Purworejo. ISSN : 0853-0823
- [14] Kroll, U. Mikhailov, S. 1996. "*Hydrogen in amorphous and microcrystalline silicon films prepared by hydrogen dilution*". Applied Physics Journal : USA.
- [15] Purwaningsih, S.Y. Karyono. Sudjatmoko. 2005. "*Efek Doping Al pada Sifat Optik dan Listrik Lapisan Tipis ZnO Hasil Deposisi dengan DC Sputtering*". Jurnal Fisika dan Aplikasinya. Volume 1, Nomor 1, 1-5.
- [16] Wiyanto. Sugianto, I. Supomo. 2004. "*Pengaruh Annealing pada film tipis Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Ditumbuhkan dengan Metode DC magnetron sputtering*". Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN 1411-4216, 1-5
- [17] Kré, R.N. dkk. 2010. "*Optical absorption of the hydrogenated evaporated amorphous silicon*". International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(6), pp. 675-682.